

**SINTESIS NANOSELULOSA DARI LIMBAH BIOMASSA AMPAS TEBU
DENGAN MENGGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM**

(Skripsi)

Oleh

**Azzahra Sandra Sakina
NPM 2157011003**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

SINTESIS NANOSELULOSA DARI LIMBAH BIOMASSA AMPAS TEBU DENGAN MENGGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM

Oleh

Azzahra Sandra Sakina

Penelitian ini dilakukan untuk mensintesis nanoselulosa dari bahan baku limbah biomassa berupa ampas tebu dengan metode hidrolisis asam. Metode dilakukan dengan prerparasi limbah ampas tebu, isolasi selulosa, pemurnian, pemutihan atau *bleaching*, penentuan kadar α -Selulosa, penentuan kadar lignin, sintesis nanoselulosa dengan hidrolisis asam pada kadar konsentrasi H_2SO_4 5%, 10%, dan 15% serta karakterisasi dengan instrument FTIR, XRD, PSA dan FESEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel 2b memiliki kualitas terbaik dari semua sampel, dengan kadar α -selulosa tertinggi sebesar 94,26%. Puncak utama struktur selulosa yang paling tinggi ditunjukkan oleh analisis FTIR pada nanoselulosa variasi 15%. Variasi 15% ini memiliki empat puncak serapan 2θ sebesar $20,1^\circ$, $22,8^\circ$, $34,6^\circ$, dan $40,5^\circ$, dengan nilai indeks kristalinitas sebesar 75%. Hasil PSA dengan ukuran partikel 2997 nm dan nilai PI 0,5. Analisis FESEM serat lebih kecil ditunjukkan pada variasi nanoselulosa H_2SO_4 15% dengan diameter 203 nm–0,975 μm .

Kata Kunci: Ampas tebu, Selulosa, Nanoselulosa, Hidrolisis asam, FTIR, XRD, PSA, FESEM

ABSTRACT

SYNTHESIS OF NANOCELLULOSE FROM BIOMASS WASTE SUGARCANE BAGASSE USING ACID HYDROLYSIS METHOD

By

Azzahra Sandra Sakina

This study was conducted to synthesize nanocellulose from biomass waste material in the form of sugarcane bagasse using the acid hydrolysis method. The process involved the preparation of sugarcane bagasse waste, cellulose isolation, purification, bleaching, determination of α -cellulose content, lignin content analysis, synthesis of nanocellulose via acid hydrolysis at sulfuric acid concentrations of 5%, 10%, and 15%, and characterization using FTIR, XRD, PSA, and FESEM instruments. The results showed that sample 2b had the best quality among all samples, with the highest α -cellulose content of 94.26%. The most prominent peak of cellulose structure was observed in the FTIR analysis of nanocellulose at the 15% variation. This 15% variation exhibited four main diffraction peaks at 2θ values of 20.1° , 22.8° , 34.6° , and 40.5° , with a crystallinity index value of 75%. The PSA analysis showed a particle size of 2997 nm and a polydispersity index (PI) of 0.5. FESEM analysis showed smaller fiber diameters in the 15% H_2SO_4 nanocellulose variation, ranging from 203 nm to 0.975 μm .

Keywords: Sugarcane Bagasse, Cellulose, Nanocellulose, Acid hydrolysis, FTIR, XRD, PSA, FESEM

**SINTESIS NANOSELULOSA DARI LIMBAH BIOMASSA AMPAS TEBU
DENGAN MENGGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM**

Oleh

AZZAHRA SANDRA SAKINA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **SINTESIS NANOSELULOSA DARI LIMBAH
BIOMASSA AMPAS TEBU DENGAN
MENGUNAKAN METODE HIDROLISIS
ASAM**

Nama Mahasiswa

: **Azzahra Sandra Sakina**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2157011003

Jurusan

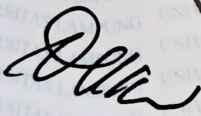
: Kimia

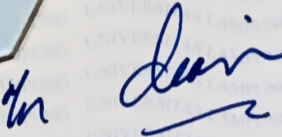
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

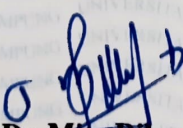


1. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Eng. Supto Dwi Y, S.Si., M.T.
NIP. 197407052000031001


Dr. Fathan Bahfie, S.T., M.Si.
NIP. 199012182014011001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA
Universitas Lampung


Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19720530 2000032001

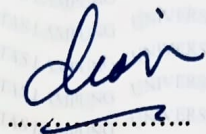
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

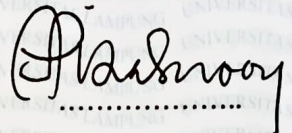
Ketua : Prof. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.



Sekretaris : Dr. Fathur Bahfie, S.T., M.Si.



Anggota : Prof. Dr. Noviany, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Agustus 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azzahra Sandra Sakina
Nomor Pokok Mahasiswa : 2157011003
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Biomassa Ampas Tebu Dengan Menggunakan Metode Hidrolisis Asam”** adalah benar karya saya sendiri dan tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis tercantum dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam Daftar Pustaka. Saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2025
Yang Menyatakan,



Azzahra Sandra Sakina
NPM. 2157011003

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting, Tanggamus pada tanggal 12 November 2002, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari Bapak Abi Yazid dan Ibu Lilis Setiawati. Pendidikan penulis dimulai pada Taman Kanak-kanak (TK) di TK Raudhatul Athfal (RA) Dahlia diselesaikan pada tahun 2009. Sekolah Dasar (SD) di SD Muhammadiyah 1 Gisting diselesaikan pada tahun 2015.

Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Gisting diselesaikan pada tahun 2018. Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Sumberejo diselesaikan pada tahun 2021. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi (PT) pada tahun 2021 di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, dan masuk melalui jalur seleksi SMM PTN-Barat.

Selama kuliah penulis ikut serta aktif dalam kegiatan kemahasiswaan seperti menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) pada periode 2022 di Biro Kesekretariatan. Pada tahun 2023 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Tunas Baru Lampung Tbk anak Perusahaan Sungai Budi Group. Pada tahun 2024 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rejomulyo, Kec. Jati Agung, Kab. Lampung Selatan pada bulan Januari-Februari. Kemudian penulis juga menjadi Asisten Praktikum (Asprak) mata kuliah Kimia Dasar di Laboratorium Kimia Dasar untuk mahasiswa program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2024. Pada tahun 2025 penulis menyelesaikan penelitian tugas akhir di Pusat Riset Teknologi Pertambangan Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas limpahan rezeki dan izin dari Allah SWT, Sang Maha Pengasih dan Penyayang, yang senantiasa memberi nikmat sehat dan iman serta limpahan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat dan salam haturkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Dengan niat yang baik ini, kupersembahkan karya ini yang sebagai bentuk tanggung jawab, rasa cinta dan kasihku kepada:

Orang Tuaku Tercinta

Bapak Abi Yazid
Ibu Lilis Setiawati

Kakakku Tersayang

Kendy Candra Abikarolis

Rasa Hormat Saya Kepada:

Bapak Prof. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. dan Bapak Dr. Fathan Bahfie, S.T., M.Si. serta seluruh dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu, pelajaran dan nasihat yang bermanfaat bagi penulis.

Keluarga, teman, dan sahabat-sahabatku yang tersayang telah membantu, memberikan semangat juga motivasi kepada penulis. Semoga apa yang diberikan menjadi cerita baik selamanya.

Serta,

Almamater Kebanggaan
Universitas Lampung

MOTTO

“Yang menciptakan mati dan hidup, untuk menguji kamu, siapa di antara kamu yang lebih baik amalnya. Dan Dia Maha Perkasa, Maha Pengampun”
(Q.S. Al-Mulk: 2)

“Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang beriman”
(Q.S. Ali Imran: 139)

“The act of wanting to pursue something maybe even more precious than actually becoming that, that thing so I feel like I just being in the process itself is a prize and so you shouldn't think of it as a hard way and even if you do get stressed out you should think of it as happy stress, just enjoy while pursuing it cause it's that precious”
(Mark Lee)

“Hidup itu selalu tentang belajar. Ketika seseorang berhenti belajar. Maka kehidupan mereka pun terhenti”
(Study Group)

Aku harus menghadapinya. Karena Ibu memberiku waktu yang tidak bisa ia punya.

SANWACANA

Dengan menyebut nama Allah SWT. yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada Penulis, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Biomassa Ampas Tebu dengan Menggunakan Metode Hidrolisis Asam”**, dengan sebaik-baiknya skripsi ini. Berkat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak skripsi ini dapat tersusun dengan baik. Maka dari itu penulis mengucapkan banyak terima kasih yaitu kepada:

1. Allah SWT, atas segala karunia rahmat, kesehatan, nikmat yang telah dilimpahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Kedua Orang Tua yang senantiasa mendukung, mendoakan, memberikan nasihat, mengajarkan tentang bersyukur, melindungi dan memberikan semangat hingga saat ini kepada penulis.
3. Kakakku yang senantiasa mendukung, membantu, dan memberikan nasihat kepada penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing pertama penulis yang telah membimbing selama penelitian hingga penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Fathan Bahfie, S.T., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah membimbing, memberikan arahan dan nasihat selama proses penelitian berlangsung hingga penulisan skripsi ini.
6. Ibu Hapin Afriyani, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan saran dan nasihat selama penulis kuliah di Jurusan Kimia.
7. Ibu Prof. Dr. Noviany, S.Si., M.Si. selaku pembahas yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.

8. Ibu Prof. Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah menyetujui skripsi ini.
9. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama penulis kuliah di Jurusan Kimia.
11. Bapak dan Ibu peneliti di Laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang.
12. Laboran dan *Research Assitant* (RA) di BRIN khususnya di Laboratorium Hidro Elektro Metalurgi BRIN yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
13. Teman-teman satu bimbingan penelitian, Difa Putri Himawan, S.Si. dan Vivia Ana Baptis, S.Si. yang selalu bersama selama penelitian dan penulisan skripsi penulis, serta memberikan semangat.
14. Kakak-kakak angkatan 20 yang telah membantu selama penelitian, Kak Pawitri dan Kak Ida.
15. Teman seperjuangan selama kuliah, Amelia Normalita, S.Si., Alysha Mutiara Salwa, S.Si., Rahmadina Pratiwi, S.Si., Sabina Clarissa L N, S.Si., Sefty Yustisia Sandjaya, S.Si., dan Yesha Pramudita, S.Si. yang selalu mendukung, memberi saran, semangat, tempat berkeluh kesah penulis hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga pertemanan kita terus berlanjut hingga tua nanti.
16. Teman, sahabat dan keluargaku sejak SMA, Amanda Putri, Eliya Firdauza, Karin Dzulita A W, Rona Aprilia dan Mulya Nilam Cahaya yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan semangat dan selalu mendukung dalam setiap langkah.
17. Terakhir, kepada penulis, Azzahra Sandra Sakina, terima kasih telah memilih bertahan selama ini. tangisan, kecewa, rasa sakit, lelah dan kesepian yang telah dilalui. Menyelesaikan apa yang telah dimulai adalah tujuan utama dari semua keputusan yang diambil. Semoga tetap bahagia dan sehat untuk melanjutkan ke langkah yang lebih hebat.

Untuk itu semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan menambah pengetahuan bagi penulis.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'AS' with a stylized flourish.

Azzahra Sandra Sakina

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Tebu	5
2.2 Selulosa	8
2.3 Hemiselulosa.....	9
2.4 Lignin	10
2.5 Nanoselulosa	11
2.6 Hidrolisis Asam.....	12
2.7 Karakterisasi Nanoselulosa	13
2.7.1 <i>Field Emission Scanning Electron Microscope</i> (FESEM).....	13
2.7.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	15
2.7.3 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	16
2.7.4 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	17
III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan	19

3.3 Prosedur	20
3.3.1 Preparasi Sampel.....	20
3.3.2 Isolasi Selulosa dari Ampas Tebu	20
3.3.3 Penentuan Kadar α -Selulosa Dengan Metode Uji SNI 0444:2009	21
3.3.4 Penentuan Kadar Lignin Menggunakan Metode SNI 0492:2008	22
3.3.5 Pembuatan Nanoselulosa dengan Metode Hidrolisis Asam.....	23
3.3.6 Karakterisasi	23
3.4 Diagram Alir	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Preparasi Sampel.....	27
4.2 Isolasi Selulosa dari Ampas Tebu	28
4.5 Penentuan Kadar α -Selulosa dengan Metode Uji SNI 0444:2009 dan Kadar Lignin Metode SNI 0492:2008	30
4.6 Pembuatan Nanoselulosa dengan Metode Hidrolisis Asam.....	32
4.7 Karakterisasi	33
4.7.1 FTIR	33
4.7.2 XRD	36
4.7.3 PSA	38
4.7.4 FESEM.....	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Produksi Tebu.....	6
2. Komposisi Ampas Tebu	8
3. Kadar α -Selulosa dan Lignin.....	31
4. Data FTIR Hasil Penelitian	35
5. Puncak Serapan dan Kristalinitas Hasil Penelitian	36
6. Volume Titrasi Selulosa dan Blanko	59
7. Data Nilai Difraktogram Nanoselulosa Variasi H ₂ SO ₄ 10%	61
8. Data Puncak Kristalinitas Nanoselulosa Variasi H ₂ SO ₄ 5%.....	61
9. Data Puncak Kristalinitas Nanoselulosa Variasi H ₂ SO ₄ 10%.....	61
10. Data Puncak Kristalinitas Nanoselulosa Variasi H ₂ SO ₄ 15%.....	61
11. Data Diameter Nanoselulosa Variasi 5%.....	63
12. Data Diameter Nanoselulosa Variasi 15%	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman Tebu.	5
2. Produksi Tebu Nasional	6
3. Struktur Selulosa	8
4. Struktur Lignin	11
5. Skema Diagram FESEM	14
6. Difraksi Sinar-X oleh Bidang Atom (A-A dan B-B).....	15
7. Spektrum FTIR dalam Panjang gelombang 4000-500 cm ⁻¹	17
8. Hasil preparasi sampel (a) Ampas tebu kasar dan (b) Ampas tebu halus.....	27
9. Selulosa (a) Sampel 1a (b) Sampel 1b (c) Sampel 2a dan (d) Sampel 2b.....	29
10. Skema Reaksi Isolasi Selulosa	30
11. Nanoselulosa Citric-NaOH (a) Variasi H ₂ SO ₄ 5% (b) Variasi H ₂ SO ₄ 10% dan (c) Variasi H ₂ SO ₄ 15%.....	32
12. Spektrum FTIR Standar Selulosa.....	33
13. Spektrum FTIR (a) Raw Ampas Tebu (b) Sampel 1a (c) Sampel 2b (d) Nanoselulosa variasi 5% dan (e) Nanoselulosa variasi 15%	34
14. Difraktogram (a) Raw Ampas Tebu (b) Sampel 1a (c) Sampel 2b	37
15. Grafik PSA Nanoselulosa (a) Variasi H ₂ SO ₄ 5% (b) Variasi H ₂ SO ₄ 10% dan (c) Variasi H ₂ SO ₄ 15%.....	39
16. Mikrograf FESEM (a) Nanoselulosa variasi H ₂ SO ₄ 5% perbesaran 5.000x dan (b) Nanoselulosa variasi H ₂ SO ₄ 15% perbesaran 5.000x	40
17. Sebelum Titirasi (a) Sampel 1a (b) Sampel 1b (c) Sampel 2a dan (d) Sampel 2b.	58
18. Setelah Titirasi (a) Sampel 1a (b) Sampel 1b (c) Sampel 2a dan (d) Sampel 2b ...	58
19. Blanko (a) Sebelum Titirasi (b) Setelah Titirasi.....	59
20. Difraktogram Nanoselulosa Variasi H ₂ SO ₄ 10%.....	60

21. Mikrograf FESEM (a) Raw ampas tebu perbesaran 1.000x (b) Sampel 1a perbesaran 1.000x (c) Sampel 2b perbesaran perbesaran 1.000x (d) Nanoselulosa 5% perbesaran 10.000x dan (e) Nanoselulosa 10% perbesaran 10.000x dan (f) Nanoselulosa 15% perbesaran 10.000x	62
22. PSA Nanoselulosa variasi H ₂ SO ₄ 5%.....	64
23. PSA Nanoselulosa variasi H ₂ SO ₄ 10%.....	65
24. PSA Nanoselulosa variasi H ₂ SO ₄ 15%.....	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah. Indonesia memiliki perkebunan yang menjadi salah satu segmen ekonomi utama yang berkontribusi signifikan terhadap pendapatan negara dan industri pengolahan nasional khususnya pada industri makanan dan minuman (Badan Pusat Statistik, 2024). Limbah perkebunan tebu yang dihasilkan dari produksi gula memiliki potensi produksi biomassa relatif tinggi berupa limbah padatan ampas tebu (Mahadevaiah *et al.*, 2021). Semakin meningkatnya produksi gula dari tanaman tebu dihasilkan ampas tebu dari setiap tebu yang diolah sebesar 90%, hanya dimanfaatkan 5% saja, dan sisanya berupa tetes tebu (*molasses*) sebanyak butir dan air (Herawati dan Melani, 2018).

Saat ini ampas tebu masih hanya digunakan sebagai pakan ternak, bahan baku produksi pupuk, pulp, dan chipboard dan untuk bahan bakar boiler pabrik gula. Ampas tebu merupakan residu berserat dari tebu yang diperoleh setelah proses ekstraksi nira. Ampas tebu mengandung 40-50% selulosa (struktur kristal dan amorf), 25-35% hemiselulosa (polimer amorf biasanya terdiri dari xilosa, arabinosa, galaktosa, glukosa, dan manosa), 13-20% lignin, dan sejumlah kecil mineral, lilin, serta senyawa lainnya (Fauziyah *et al.*, 2022).

Selulosa merupakan salah satu sumber daya alam terbarukan yang paling berlimpah di Indonesia dan merupakan komponen utama dari lignoselulosa dari dinding sel pada tanaman bersama dengan hemiselulosa, lignin, pektin, dan lilin. Selulosa merupakan

polimer alam yang paling melimpah, biokompatibel, dan ramah lingkungan karena mudah terdegradasi, tidak beracun, serta dapat diperbarui (Song *et al.*, 2008). Sumber daya alam yang mengandung selulosa, seperti dinding sel tumbuhan, asam asetat bakteri, hewan (*tunicates*), alga, dan *oomycetes*, dapat diperoleh sebagai bahan baku selulosa.

Selulosa ini dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat nanoselulosa atau selulosa dengan ukuran lebih kecil. Peningkatan permintaan nanoselulosa di seluruh dunia meningkatkan pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai sumber nanoselulosa. Penggunaan limbah tebu sebagai sumber nanoselulosa tidak hanya mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan, tetapi juga dapat menawarkan solusi untuk kebutuhan industri yang semakin meningkat akan material berbasis selulosa (Widya, 2022). Penanganan terkait masalah limbah ini terus dikembangkan dengan metode-metode yang canggih dan berinovasi.

Kandungan selulosa yang terdapat dalam ampas tebu diisolasi menjadi nanoselulosa. Nanoselulosa dapat dihasilkan dengan menggunakan metode hidrolisis asam. Metode hidrolisis digunakan dengan asam kuat yaitu asam sulfat. Penggunaan asam dalam teknik ini memecah ikatan glikosidik dalam selulosa, menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran dan karakteristik yang diinginkan. Dengan memvariasikan suhu reaksi dan perbandingan asam terhadap selulosa, ukuran nanoselulosa yang dihasilkan dapat bervariasi antara 150 - 200 x 10 - 20 nm (Ioelovich, 2012). Metode hidrolisis asam mampu menghasilkan nanoselulosa dengan sifat fisikokimia yang lebih baik, seperti indeks kristalinitas yang lebih tinggi, ukuran partikel yang lebih kecil, serta morfologi khas dan luas permukaan yang besar, dibandingkan metode lainnya seperti hidrolisis enzimatis (Jirathampinyo *et al.*, 2023), mekanikal (Thakur *et al.*, 2021), dan penggunaan oksidator (Hu *et al.*, 2024).

Wulandari *et al* (2016) telah mensintesis nanoselulosa dari ampas tebu dengan metode hidrolisis asam dengan konsentrasi asam sulfat 50%. Dari hasil analisis FTIR tidak ada ikatan baru yang terbentuk selama hidrolisis. Analisis XRD menunjukkan derajat kristalinitas nanoselulosa sebesar 76,01%. Analisis TEM menunjukkan bahwa

nanoselulosa memiliki morfologi sferis dengan diameter rata-rata 111 nm dan distribusi maksimum 95,9 nm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa limbah tebu dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat nanoselulosa dengan karakteristik yang baik. Meskipun demikian, masih ada banyak elemen yang perlu diteliti lebih lanjut, terutama dalam hal mengoptimalkan proses hidrolisis asam.

Dengan memanfaatkan limbah biomassa ampas tebu sebagai sumber nanoselulosa diharapkan dapat mendukung ide tentang ekonomi sirkular di mana limbah dapat digunakan kembali sebagai sumber daya dalam upaya global untuk mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan. Faktor seperti kondisi waktu reaksi, konsentrasi asam, dan suhu dapat mempengaruhi hasil nanoselulosa yang dihasilkan dan perbedaan pada tahap isolasi awal menggunakan variasi bahan yang berbeda.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nanoselulosa dari limbah ampas tebu menggunakan metode hidrolisis asam. Metode hidrolisis asam dipilih karena metode ini mudah dan cepat dalam menghasilkan nanoselulosa. Sebagai keterbahaaruan penelitian ini metode isolasi selulosa limbah ampas tebu menggunakan HNO_3 dan citric acid. Serta menggunakan H_2SO_4 pada hidrolisis asam dengan konsentrasi rendah hingga sedang (5%, 10%, 15%) yang lebih ramah lingkungan daripada metode konvensional yang menggunakan 45–65% H_2SO_4 . Kemudian karakterisasi dilakukan dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD), *Particle Size Analyzer* (PSA), dan *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan nanoselulosa dari limbah biomassa berupa ampas tebu melalui metode hidrolisis asam.
2. Untuk mengetahui topografi, kristalinitas dan ukuran partikel nanoselulosa yang di hasilkan.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan diperoleh dari penelitian ini yaitu menghasilkan nanoselulosa dari ampas tebu dengan memanfaatkan sumber daya alam yang melimpah serta mengetahui struktur, kualitas dan kemurnian nanoselulosa dari karakterisasi yang dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Tebu

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) adalah salah satu tanaman tahunan dari keluarga rumput-rumputan (*Poaceae*) yang banyak dibudidayakan untuk produksi gula dan produk turunan lainnya (Samsuri *et al.*, 2007). Dengan kemampuan yang luar biasa untuk mensintesis dan mengakumulasi sukrosa di batangnya, tebu telah berkembang dari tanaman rumput liar yang tidak dikenal menjadi tanaman komersial terbesar di dunia (Dinesh *et al.*, 2022). Tanaman tebu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tanaman Tebu.

Jumlah lahan yang digunakan untuk panen tebu di Indonesia adalah 477,12 ribu hektar pada tahun 2014. Jumlah ini kemudian meningkat menjadi 483,90 ribu hektar pada tahun 2022. Berdasarkan temuan estimasi yang dibuat oleh Ditjen Perkebunan, luas panen tebu diperkirakan mencapai 494,76 ribu hektar pada tahun 2023. Berdasarkan rata-rata sepuluh tahun, itu adalah peningkatan 2,24 persen dari tahun sebelumnya. Terakhir, PR menyumbang 56,42% dari panen tebu, diikuti oleh

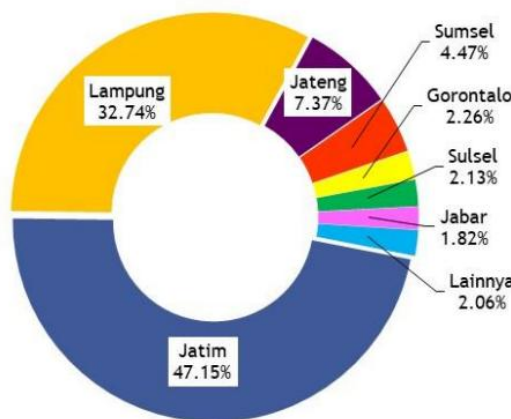
kontribusi PBN sebesar 16,09% dan PBS sebesar 27,49% (Kementerian Pertanian, 2023). Hasil produksi tebu di Indonesia sejak tahun 2014-2023 dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Produksi Tebu

Tahun	Produksi			Indonesia
	PR	PBN	PBS	
Rata-rata pertumbuhan (%)				
2014 - 2023	-3.31	3.35	1.75	0.35
Rata-rata kontribusi (%)				
2014 – 2023	57.12	13.87	29.01	100.00

(Kementerian Pertanian, 2023).

Produksi tebu selama sepuluh tahun pertama (2013–2022): PR, PBN, dan PBS. Selama periode tersebut, rata-rata produksi tebu PR meningkat rata-rata 0,70% per tahun, PBN meningkat 1,02% per tahun, sementara PBS turun 2,08% tahunan. Produksi tebu nasional terletak pada pabrik gula Indonesia yang hanya tersebar di 12 provinsi dan produsen terbesar berada di Provinsi Jawa Timur (Kementerian Pertanian, 2023). Persebaran produksi tebu nasional dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Produksi Tebu Nasional (Kementerian Pertanian, 2023).

Di Provinsi Lampung sendiri hasil produksi gula berada di Kabupaten Lampung Tengah pada tahun 2021 mencapai 355,04 ribu ton atau 45,58% dari produksi gula di Provinsi Lampung. Kabupaten Tulang Bawang sebesar 197,89 ribu ton gula hablur (25,40%), Kabupaten Way Kanan sebesar 188,81 ribu ton (24,24%), Kabupaten Lampung Utara sebesar 34,70 ribu ton (4,45%), dan Kabupaten Tulang Bawang Barat sebesar 2,54 ribu ton (0,33%) (Kementerian Pertanian, 2023). Hasil dari produksi gula dari tanaman tebu menghasilkan limbah atau hasil samping seperti ampas tebu, tetes tebu, abu, dan blotong.

Ampas tebu ini merupakan bagian dari limbah biomassa yang menjadi sumber energi terbarukan dan memiliki banyak potensi di Indonesia dan sebagai opsi energi alternatif yang paling menarik. Sayangnya, biomassa, khususnya limbahnya, masih belum dimanfaatkan dengan benar. Produksi limbah biomassa di Indonesia diperkirakan mencapai 123,5 juta ton per tahun, atau 1455,97 juta GJ/tahun. Limbah ini terutama berasal dari tanaman padi sebesar 705 juta GJ/tahun, perkebunan karet sebesar 46,45 juta GJ/tahun, industri tebu sebesar 91,19 juta GJ/tahun, industri kelapa sawit sebesar 247,15 juta GJ/tahun, kelapa 162,3 juta GJ/tahun, dan sektor lain sebesar 14,19 juta GJ/tahun (Purwanto and Supramono, 2016).

Ampas tebu dari hasil samping penggilingan dan produksi gula yang berbentuk padat dan kaya akan serat. Pemanfaatan limbah ampas tebu di Indonesia masih belum maksimal dalam pemanfaatannya, padahal serat ampas tebu sangat melimpah sekitar 30% dari berat tanaman tebu. Kandungan selulosa yang banyak pada ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai zat pengisi dalam pembuatan bioplastik (Samsuri *et al.*, 2007).

Ampas tebu menjadi salah satu limbah padat yang harus dikelola dengan baik. Beberapa peneliti telah melakukan pengelolaan limbah biomassa ampas tebu ini menjadi beberapa inovasi. Salah satunya dengan mengekstraknya menjadi selulosa dengan berbagai metode seperti metode ultrasonikasi dan tekanan tinggi (Li *et al.*, 2012), hidrolisis asam (Ioelovich, 2012), dan hidrolisis enzimatis (Taokaew *et al.*, 2013).

Komposisi ampas tebu dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Ampas Tebu

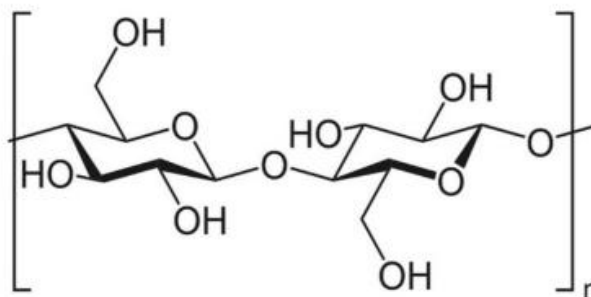
<i>Component</i>	<i>Composition %</i>
<i>Cellulose</i>	44
<i>Hemi-Cellulose</i>	27
<i>Lignin</i>	13
<i>Ash</i>	4

(Behnood *et al.*, 2016).

2.2 Selulosa

Selulosa adalah polimer paling melimpah di alam yang mudah terurai, tidak beracun, dan dapat diperbarui, menjadikannya polimer paling ramah lingkungan.

Lignoselulosa, bersama dengan hemiselulosa, lignin, pektin, dan lilin, berasal dari berbagai limbah pertanian seperti bagas tebu, jerami, ampas sagu, dan kelapa sawit, dan merupakan komponen utama dinding sel tanaman. Karena menipisnya bahan baku dari sumber daya alam tak terbarukan, penggunaan selulosa sebagai bahan baku alternatif dalam industri kini meningkat. Namun, akibat ikatan hidrogen intra- dan antarmolekul yang kuat dalam struktur selulosa, penggunaannya dalam berbagai aplikasi masih terbatas (Song *et al.*, 2008). Struktur selulosa dapat di lihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Selulosa (Lestari, 2024).

Selulosa memiliki struktur paling sederhana di antara polisakarida karena tersusun dari monomer unit glukosa dalam bentuk b-D-glukopiranosa. Selulosa adalah polimer

sindiotaktik linier polidispersi. Molekul glukosa dihubungkan secara kovalen melalui fungsi asetal antara gugus hidroksil ekuatorial atom karbon C4 dan C1. Suksesi unit anhidroglukosa (AGU) yang dihubungkan secara glikosida ini menghasilkan rantai panjang β -1,4-glukan.2,3,6 (Credou *and* Berthelot, 2014).

Selulosa adalah polimer hidrofilik yang memiliki tiga gugus hidroksil reaktif pada setiap unit hidroglukosa. Polimer ini terdiri dari ribuan unit glukosa yang terhubung melalui ikatan β -1,4-glikosidik, membentuk rantai molekul yang panjang dan linier. Gugus hidroksil ini dapat dimodifikasi dengan menambahkan gugus fungsi tertentu pada selulosa melalui teknik pencangkakan, yang memungkinkan berbagai aplikasi baru untuk bahan ini (Klemm *et al.*, 1998).

Tiga jenis selulosa dapat diidentifikasi berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutannya dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) 17,5%.

1. α -Selulosa

Selulosa berantai panjang, yang tidak larut dalam larutan NaOH. Larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi (DP) antara 600–15.000 atau 17,5% α -selulosa digunakan sebagai indikator dan untuk menilai tingkat kemurnian selulosa. Semakin tinggi kadar α -selulosa, semakin baik kualitas bahan tersebut.

2. β -Selulosa

Selulosa berantai pendek, yang larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP (Derajat Polimerisasi) 15 – 90, serta dapat mengendap jika dalam keadaan netral.

3. γ -selulosa

Selulosa berantai pendek, yang larut dalam larutan NaOH 17,5%. Derajat polimerisasinya kurang dari 15 dan kandungan utamanya adalah hemiselulosa (Nuringtyas, 2010).

2.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polisakarida dengan berat molekul lebih rendah daripada selulosa. Tidak seperti selulosa yang hanya terdiri dari glukosa, hemiselulosa tersusun

atas berbagai jenis gula. Lima gula netral, yaitu glukosa, mannanosa, dan galaktosa (heksosa) serta xilosa dan arabinosa (pentosa), yaitu komponen utama hemiselulosa. Hemiselulosa memiliki kemampuan menyerap air lebih baik, bersifat plastis, dan luas permukaan lebih besar dibandingkan selulosa. Hemiselulosa menjadi istilah umum polisakarida yang larut dalam alkali, dan letaknya berdekatan dengan selulosa dalam dinding sel tumbuhan (Fengel *and* Wenger, 1995).

Hemiselulosa adalah senyawa mirip polisakarida yang terdapat di semua jenis serat. Senyawa ini mudah larut dalam basa dan dapat dihidrolisis oleh asam mineral menjadi gula serta senyawa lainnya. Hemiselulosa lebih mudah larut dibandingkan selulosa dan dapat diekstraksi dari kayu melalui proses ekstraksi (Paskawati *et al.*, 2011).

Hemiselulosa dapat mengalami reaksi oksidasi menjadi senyawa keto dan aldo, serta membentuk adisi pada gugus hidroksilnya. Karena rantai molekul hemiselulosa lebih pendek dan bercabang, hemiselulosa lebih rentan terhadap oksidasi dan degradasi dibandingkan selulosa. Oleh karena itu, hemiselulosa akan teroksidasi dan terdegradasi lebih dulu daripada selulosa dalam proses-proses kimia (Fengel *and* Wenger, 1995).

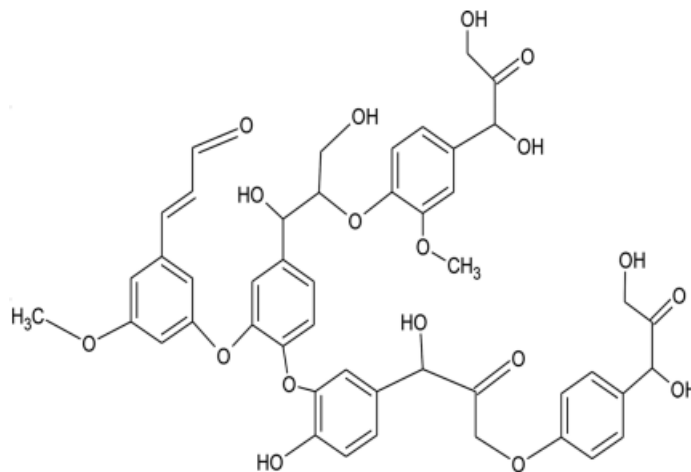
2.4 Lignin

Lignin adalah bagian dari tumbuhan yang berada di lamelar tengah dan dinding sel, berfungsi sebagai perekat antar sel. Kehadiran lignin tidak diinginkan dalam proses pembuatan pulp karena dapat mengganggu proses tersebut. Lignin merupakan polimer kompleks yang bersifat amorf. Sifat amorf ini membuat sifat fisik dan bentuk molekul lignin sulit untuk ditentukan secara pasti (Fengel *and* Wenger, 1995).

Lignin terdapat di dalam dinding sel dan di antara sel-sel individu, berperan sebagai agen pengikat yang menjaga sel-sel tetap bersatu. Di dalam dinding sel, lignin sangat berhubungan erat dengan selulosa dan hemiselulosa, memberikan kekakuan dan kekuatan struktural pada sel tanaman (Fox *et al.*, 2010). Lignin berfungsi sebagian besar untuk membentuk lapisan di antara serat, yang mengikat serat selulosa satu

sama lain, baik dalam kayu maupun non-kayu. Polimer lignin sulit ditemukan dalam tumbuhan dan ditentukan oleh strukturnya yang tidak teratur, yang berarti setiap tumbuhan memiliki struktur lignin yang unik (Khadafi *et al.*, 2022).

Meskipun lignin lebih tahan terhadap panas, strukturnya sangat rentan terhadap perubahan termal. Para ilmuwan perlu memahami bahwa pemrosesan pada suhu tinggi yang digunakan dalam pembuatan beberapa bahan termoplastik dapat menyebabkan perubahan struktur lignin, seperti polimerisasi, hilangnya gugus hidroksil, dan terbentuknya gugus asam baru. Sumber lignin dapat ditemukan dalam berbagai macam tumbuhan seperti kayu, pulp dan kertas, serta ampas tebu (Mahmood *et al.*, 2018). Struktur lignin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Lignin (Mahmood *et al.*, 2018).

2.5 Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah jenis selulosa yang telah diproses menjadi ukuran nanometer, biasanya dengan diameter antara 1 dan 100 nanometer. Ini dibuat dari selulosa yang dipecah melalui berbagai teknik, seperti penggilingan mekanis dan hidrolisis asam. Nanoselulosa memiliki kekuatan tinggi, kekakuan, dan stabilitas yang sangat baik (Phanthong *et al.*, 2018). Selulosa dapat dimodifikasi menjadi bahan bernilai

ekonomis lebih tinggi, seperti nanoselulosa. Nanoselulosa, dengan ukuran partikel yang sangat kecil dan sifat yang baik.

Material berukuran nano menjadi fondasi penting dalam pengembangan sains dan teknologi. Nanoselulosa adalah material yang memiliki diameter sekitar 2-20 nm dan panjangnya dapat mencapai ribuan meter (Hertiwi *et al.*, 2020). Nanoselulosa telah dimanfaatkan dalam berbagai industri, termasuk farmasi, kedokteran, peralatan rumah tangga, dan elektronik. Untuk memproduksi nanoselulosa, berbagai bahan baku seperti serat nanas, ampas tebu, dan serbuk kayu digunakan dalam penelitian. Nanoselulosa umumnya diperoleh dari bahan alami yang mengandung selulosa, memanfaatkan sifat-sifat uniknya untuk aplikasi yang inovatif dan berkelanjutan (Widiastuti dan Marlina, 2020).

Mengekstrak nanoselulosa dari bahan selulosa dapat dilakukan dengan berbagai cara. Metode ekstraksi yang berbeda mempengaruhi jenis dan karakteristik nanoselulosa yang diperoleh (Peng *et al.*, 2011). Nanoselulosa dapat diekstraksi menggunakan metode yang dilakukan oleh (Phanthong *et al.*, 2018) hidrolisis asam, hidrolisis enzimatis, dan proses mekanis. Sampel yang digunakan meliputi sekam padi, untuk diuji efektivitas praperlakuan alkali dan pemutihan, yang meningkatkan kandungan selulosa dari 35 wt% menjadi 96 wt%, tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu, daun nanas, batang apel, serat sabut kelapa, kulit pohon mulberi, sekam kacang dan serabut kapas.

2.6 Hidrolisis Asam

Proses dekomposisi kimia yang dikenal sebagai hidrolisis melibatkan penggunaan air untuk memisahkan ikatan kimia dalam substansi. Ketika asam digunakan untuk menghidrolisis polisakarida menjadi monosakarida, proses ini disebut hidrolisis asam. Tujuan dari hidrolisis asam adalah untuk memecah ikatan lignin, selulosa, dan hemiselulosa sehingga selulosa dan hemiselulosa dapat dengan mudah diubah

menjadi glukosa (Rayana dkk., 2014). Pemutihan menggunakan asam peroksida menghasilkan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan pemutihan menggunakan asam klorida, namun asam peroksida memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah. Selain senyawa asam, asam sulfat juga sering digunakan dalam proses perlakuan (Mulyadi, 2019).

Semua metode memiliki kekurangan. Mekanisme tekanan tinggi memerlukan banyak energi dan waktu ekstraksi yang lama, hidrolisis enzimatis memerlukan biaya yang tinggi dan waktu ekstraksi yang lama, dan hidrolisis asam memerlukan konsentrasi asam yang tinggi yang tidak ramah lingkungan. Namun, hasil hidrolisis asam nanoselulosa lebih baik daripada ultrasonik (Wulandari *et al.*, 2016). Proses hidrolisis terjadi ketika suatu senyawa pecah atau terurai oleh reaktan dengan air. Katalisator yang paling umum digunakan dalam proses hidrolisa adalah asam klorida, asam nitrat, dan asam sulfat (Guntama *et al.*, 2019).

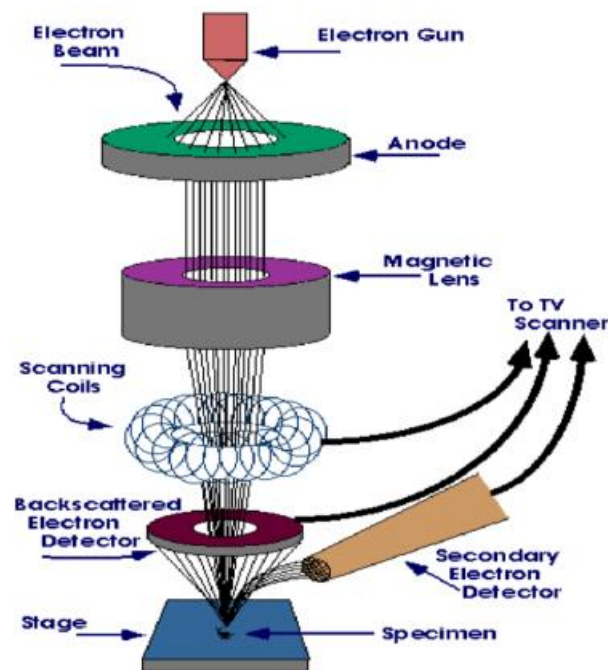
2.7 Karakterisasi Nanoselulosa

2.7.1 *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM)

Analisis *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM) merupakan teknik pencitraan mikroskopis yang menggunakan emisi medan (*field emission*) untuk menghasilkan gambar permukaan suatu sampel dengan resolusi sangat tinggi. Dengan kedalaman bidang yang hampir tak terbatas, mikroskop elektron pemindaian emisi medan FESEM dapat memberikan informasi tentang unsur dan topografi. Gambar FESEM memiliki kejernihan tiga hingga enam kali lebih baik serta lebih sedikit distorsi elektrostatik, dengan resolusi spasial hingga 1,5 nm, dibandingkan dengan metode SEM konvensional (Mayeen *et al.*, 2018).

Seperti metode SEM biasa, *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM) memindai permukaan sampel dengan berkas elektron, dan monitor menampilkan informasi yang diinginkan berdasarkan detektor yang tersedia. Dengan menggunakan

senjata emisi medan, FESEM memberikan sinar elektron yang sangat terfokus dengan energi tinggi dan rendah, resolusi tinggi dan memungkinkan operasi pada potensial yang sangat rendah (0,02-5 kV). Ini membantu mengurangi dampak pengisian daya pada spesimen non-konduktif dan mencegah kerusakan pada sampel yang sensitif terhadap berkas elektron. Penggunaan detektor dalam lensa adalah fitur lain yang luar biasa dari FESEM. Detektor ini memiliki resolusi tinggi dan potensial akselerasi yang sangat rendah. FESEM dapat melihat struktur sampel dalam tiga dimensi dan menganalisis banyak sampel sekaligus (Prabhu *et al.*, 2021). Skema Diagram FESEM dapat dilihat pada Gambar 5.



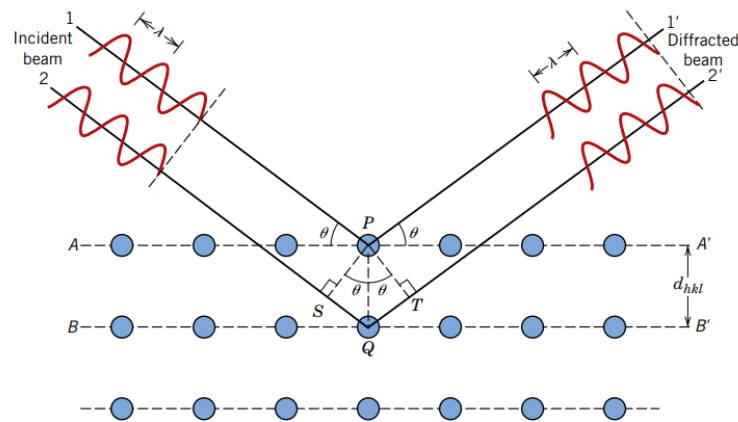
Gambar 5. Skema Diagram FESEM (Prabhu *et al.*, 2021)

Dalam analisis FESEM sampel berupa serbuk, logam, atau film tipis dapat dianalisis selama dalam kondisi kering dan tidak bersifat magnetik. Untuk serbuk dengan ukuran partikel melebihi 100 nm, disarankan mencampurkannya dengan pelarut yang sesuai dan kemudian mencetak atau melapiskannya pada substrat konduktif, seperti aluminium foil, silikon, atau tembaga, sebelum dilakukan analisis. Sementara itu,

sampel biologis dan cair perlu melalui proses fiksasi, pelapisan, atau penetasan pada substrat konduktif berukuran sekitar 1 cm, kemudian dikeringkan sepenuhnya sebelum waktu analisis (Thermo Fisher Scientific, 2019).

2.7.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Radiasi sinar-X merupakan salah satu jenis radiasi elektromagnetik dengan energi tinggi dan sudut berangkat yang telah ditentukan antara atom dan berkas radiasi. Ketika sinar-X memancarkan informasi tentang bahan-bahan penyusunnya, sebagian berkas tersebut dipantulkan ke segala arah oleh elektron-elektron yang terkait dengan setiap atom atau ion yang terletak dalam berkas cahaya. Hal ini terjadi ketika gelombang bersentuhan dengan penghalang jarak-tercier yang dapat mendeteksi gelombang dan memiliki jarak yang berbeda dari gelombang panjang. Lebih tepatnya, distorsi merupakan hasil dari pengikatan fasa arus antara keduanya atau lebih tepatnya, semakin besar gelombang yang telah dihantam oleh penghalang tersebut (William *and* David, 1980). Ilustrasi difraksi sinar-X dapat di lihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Difraksi Sinar-X oleh Bidang Atom (A-A dan B-B) (William *and* David, 1980).

Penggunaan XRD sebagai metode analisis dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan mengukur parameter struktur kisi dan ukuran partikel (Khadafi *et al.*, 2022). Indeks kristalinitas dapat diukur dengan metode Segal's (Persamaan 1):

$$I_{cr} = (I_{200} - I_{am}) / I_{200} \quad (1)$$

di mana I_{200} adalah intensitas maksimum difraksi puncak pada ($2\theta=22,6^\circ$). I_{am} yaitu intensitas difraksi puncak pada ($2\theta=18^\circ$) yang sesuai dengan daerah amorf. Ukuran kristal dihitung dengan menggunakan persamaan Derby Scherer (Persamaan 2):

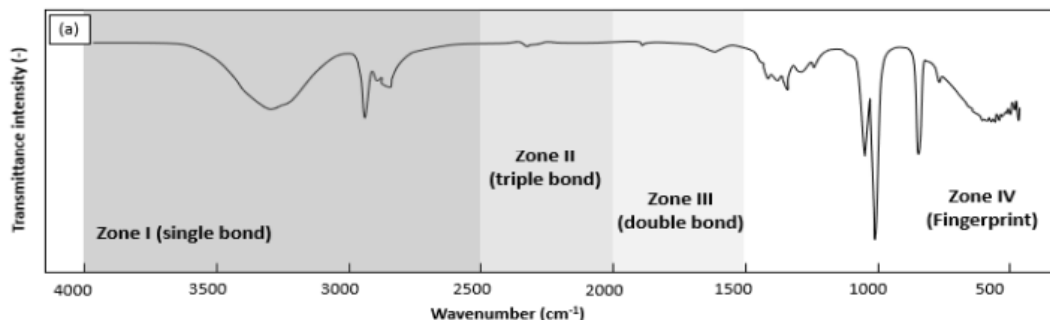
$$D = k \lambda / \beta \cos \theta \quad (2)$$

di mana k adalah faktor bentuk (0,89) dan β adalah FWHM (Lebar Penuh Setengah Maksimum) dengan intensitas maksimum (I_{200}) dalam radian (Asrofi *et al.*, 2017).

2.7.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Salah satu teknik yang sering digunakan untuk mengidentifikasi berbagai gugus fungsi dalam suatu senyawa adalah spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR). Teknik ini cepat dan aman untuk menentukan komponen kuantitatif dan kualitatif biomassa di wilayah inframerah (Xu *et al.*, 2013). Dengan menggunakan spektroskopi FTIR untuk menganalisis gugus fungsi lignin dan hemiselulosa, dipastikan bahwa lignin dan hemiselulosa telah dihilangkan selama proses isolasi selulosa (Widiarto *et al.*, 2016).

Spektrum inframerah dibagi menjadi empat wilayah yaitu, wilayah ikatan tunggal ($2500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$), wilayah ikatan rangkap tiga ($2000\text{--}2500\text{ cm}^{-1}$), wilayah ikatan rangkap dua ($1500\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$), dan wilayah *fingerprint* ($600\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$) (Bayu et al., 2019). Spektrum FTIR dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spektrum FTIR dalam Panjang gelombang $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ (Nandiyanto et al., 2023)

Pada FTIR serapan pada 3451 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi regangan dari gugus OH, sementara pada bilangan gelombang 2899 cm^{-1} terjadi serapan yang menandakan keberadaan gugus CH. Serapan di 1644 cm^{-1} diidentifikasi sebagai vibrasi OH yang berasal dari air yang teradsorpsi. Puncak pada 1382 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus CH dan CO, yang ditemukan pada struktur cincin polisakarida dalam nanoselulosa. Vibrasi dari gugus COC pada cincin piranosa ditandai oleh serapan pada 1060 cm^{-1} (Li et al., 2012).

2.7.4 Particle Size Analyzer (PSA)

Dasar teori dari penggunaan *Particle Size Analyzer* (PSA) dalam pengukuran ukuran partikel adalah ketika cahaya laser diarahkan melalui larutan koloid yang mengandung partikel atau tetesan, sebagian dari cahaya tersebut akan mengalami hamburan ke berbagai arah. Jika partikel berukuran jauh lebih kecil dibandingkan panjang gelombang cahaya, maka cahaya tersebar merata ke semua arah, sesuai dengan prinsip hamburan Rayleigh. Namun, apabila partikel memiliki ukuran lebih besar atau sekitar lebih dari 250 nm , maka intensitas hamburan menjadi bergantung pada sudut pengamatannya. Perbedaan karakteristik antara partikel kecil dan besar yaitu, partikel kecil cenderung menghasilkan hamburan pada sudut besar dengan

intensitas cahaya yang relatif rendah. Sedangkan partikel besar biasanya menyebabkan hamburan yang kuat pada sudut kecil, dengan intensitas cahaya tersebar yang lebih tinggi (Wahyudi and Rochani, 2011)

Indeks polidispersitas (PDI/PI) merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan rentang variasi ukuran dalam suatu nanosistem. Istilah polidispersitas, atau dispersitas sesuai rekomendasi IUPAC, mengacu pada tingkat ketidakhomogenan ukuran partikel dalam distribusi tersebut. PDI, yang juga dikenal sebagai indeks heterogenitas, diperoleh melalui analisis kumulan dengan mencocokkan dua parameter terhadap data korelasi. Nilai ini bersifat tidak berdimensi dan telah dinormalisasi, di mana nilai PDI di bawah 0,5 menunjukkan bahwa sampel sangat monodispersitas. Sebaliknya, ketika nilai PDI melebihi 0,7, hal ini menandakan bahwa ukuran partikel tersebar sangat luas. Penggunaan teknik *Dynamic Light Scattering* (DLS) menjadi kurang tepat. Untuk sampel dengan nilai PDI yang berada dalam kisaran menengah (0,5 hingga 0,7), biasanya digunakan algoritma distribusi yang berbeda untuk menganalisis data ukuran partikel (Danaei *et al.*, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 hingga April 2025 di Pusat Riset Teknologi Pertambangan Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Penelitian meliputi preparasi sampel hingga pembuatan nanoselulosa dan analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD), *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM).

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah blender, neraca analitik, oven, ayakan 80 *mesh*, labu ukur 500 mL dan 50 mL, labu Erlenmeyer 250 mL dan 500 mL, gelas *beaker* (100 ml, 500 mL dan 1000 mL), gelas ukur 100 mL, batang pengaduk, pipet tetes, pipet ukur, corong gelas, kaca arloji, kertas saring, plastic *wrap*, *magnetic stirrer*, mikro pipet, indikator universal, tabung sentrifugasi, FTIR, XRD, PSA dan FESEM.

Bahan-bahan yang digunakan adalah ampas tebu, larutan NaOH 2% dan 17,5%, air atau akuades, larutan H₂O₂ 10%, Na₂SO₄ 2%, larutan HNO₃ 3,5%, monosodium glutamat (MSG) 17,5%, larutan H₂SO₄, larutan FAS 0,1 N, citric acid, etanol dan indikator ferroin.

3.3 Prosedur

3.3.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel ampas tebu dilakukan dengan mencuci dan mengeringkan sampel dibawah sinar matahari selama 2 hari. Kemudian sampel dipotong kecil-kecil dengan gunting dan dihaluskan dengan blender. Sampel yang telah halus diayak menggunakan ayakan 80 *mesh* sehingga didapatkan sampel yang lebih halus.

3.3.2 Isolasi Selulosa dari Ampas Tebu

Sampel ampas tebu, sebanyak 200 g dibagi menjadi 2 bagian masing-masing sebanyak 100 g sehingga terdapat sampel 1 dan 2. Dimasukkan kedua sampel masing-masing ke dalam gelas beaker, kemudian dilarutkan sampel 1 dengan 2 L HNO_3 3,5% dan sampel 2 dengan larutan citric acid 0,5 M perbandingan 1:20. Kedua sampel dipanaskan dengan hot plate dengan suhu 90°C selama 2 jam. Kemudian sampel disaring dengan kertas saring. Residu dicuci dengan air hingga netral dan dikeringkan dengan ssinar matahari. Selanjutnya sampel 1 dan 2 masing-masing direfluks dengan campuran NaOH 2% dan Na_2SO_4 2% sebanyak 700 mL dengan suhu 50°C selama 1 jam. Setelah itu disaring, residu dicuci hingga netral dan dikeringkan dengan oven.

Kedua sampel tersebut kemudian dibagi menjadi 2 masing-masing sehingga menjadi sampel 1(a,b) dan sampel 2 (a,b). Dilakukan pemurnian sampel 1(a) dengan 500 mL larutan MSG 17,5% dan sampel 1(b) dengan 500 mL larutan NaOH 17,5%. Perlakuan yang sama untuk sampel 2(a) dan 2(b). Keempat sampel dipanaskan pada suhu 80°C selama 30 menit. Setelah itu dicuci dengan air hingga pH netral dan dikeringkan dengan oven.

Semua sampel dari pemurnain dilakukan pemutihan menggunakan larutan H_2O_2 10%. Setelah itu dipanaskan dengan hotplate pada suhu 60°C rpm 200 selama 1 jam.

Sampel yang telah diputihkan lalu dicuci dengan air sampai pH netral dan dikeringkan dengan oven.

3.3.3 Penentuan Kadar α -Selulosa Dengan Metode Uji SNI 0444:2009

Sampel sebanyak 1,5 g dimasukkan ke dalam gelas beaker 300 mL dan ditambahkan 75 mL NaOH 17,5%. Sesuaikan suhu 25°C. Catat waktu saat larutan NaOH ditambahkan. Diaduk pulp dengan alat hingga campuran terdispersi. Dihindari dari terjadinya gelembung udara dalam suspensi pulp. Setelah tersuspensi dengan baik, diangkat pengaduk dan dibersihkan pulp yang menempel pada ujung batang pengaduk.

Kemudian ditambah dengan 25 mL NaOH 17,5%. Diaduk suspensi pulp dan disimpan dalam penangas 25°C selama 30 menit. Ditambahkan 100 mL air pada suspensi pulp dan diaduk. Disimpan kembali pada penangas selama 30 menit. Setelah itu, diaduk suspensi dan dituangkan ke dalam corong.

Dibuang 10 mL sampai 20 mL filtrat dan dimasukkan ke dalam labu hingga menjadi 100 mL. Hindari terjadinya gelembung pada pulp saat proses menyaring. Dipipet filtrat 25 mL dan masukkan ke dalam labu 250 mL. Tambahkan 10 mL larutan kalium dikromat 0,5 N. Kemudian ditambahkan 50 mL asam sulfat pekat dan goyangkan perlahan. Selama 15 menit biarkan larutan tetap panas. Panaskan dengan suhu 125°C sampai 135°C. Ditambahkan sebanyak 50 mL air dan didinginkan di suhu ruang.

Setelah itu ditambahkan 2 sampai 4 tetes indikator ferroin dan dititrasi dengan larutan *ferro ammonium sulfat* (FAS) 0,1 N hingga berubah warna menjadi ungu. Kelarutan pulp tinggi (kelarutan α -Selulosa rendah), titrasi balik dikromat kurang dari 10 mL, volume filtrat dikurangi menjadi 10 mL maka penambahan asam sulfat menjadi 30 mL. Dititrasi blanko dengan mengganti filtrat pulp dengan 12,5 mL larutan NaOH 17,5% dan 12,5 mL air suli.

Hasil analisis yang dapat ditentukan paling optimum menggunakan (Persamaan 3):

$$x = 100 - \frac{6,85 (V^1 - V^2) \times N \times 20}{A \times W} \quad (3)$$

Keterangan:

X = α -Selulosa, dalam persen (%);

V1 = volume titrasi blanko, dalam mililiter (mL);

V2 = volume titrasi filtrat pulp, dalam milimeter (mL);

N = normalitas larutan ferro ammonium sulfat;

A = volume filtrat pulp yang dianalisa, dalam milimeter (mL);

W = berat kering oven contoh uji pulp, dalam gram (g).

3.3.4 Penentuan Kadar Lignin Menggunakan Metode SNI 0492:2008

Penentuan kadar lignin dengan metode SNI 0492:2008. Sampel 1 g dimasukkan ke dalam labu dan ditambahkan 15 mL H₂SO₄ 72%, lalu ditutup dengan kaca arloji dan diaduk selama 2 sampai 3 menit. Direndam di dalam bak perendam pada suhu 20°C selama 2 jam. Ditambahkan air 560 mL dan di refluks selama 4 jam. Campuran didiamkan selama 24 jam hingga lignin mengendap semua. Setelah itu lignin dicuci dan disaring dengan kertas saring yang telah diketahui bobotnya. Di oven endapan lignin pada suhu 100°C dan ditimbang. Dapat diketahui bobot lignin dengan menggunakan (Persamaan 4):

$$L = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

A = Endapan lignin (gram);

B = Berat sampel (gram).

3.3.5 Pembuatan Nanoselulosa dengan Metode Hidrolisis Asam

Sampel ampas tebu sebanyak 15 g dibagi menjadi tiga bagian kemudian masing-masing dimasukkan kedalam labu 1000 mL. Sampel ditambahkan 100 mL H_2SO_4 menggunakan variasi konsentrasi sebesar 5% untuk sampel pertama, 10% untuk sampel kedua dan 15% untuk sampel ketiga. Di refluks semua sampel selama 5 jam dengan sesekali diaduk, setelah itu tambahkan 100 mL air dan didinginkan.

Disentrifugasi semua sampel dengan kecepatan 12000 rpm selama 15 menit, dicuci dengan air selama disentrifugasi. Setelah itu suspensi koloid di ultrasonikasi selama 5 menit dalam *ice bath* dan di keringkan dengan *hot-drying*.

3.3.6 Karakterisasi

1. FTIR

Karakterisasi sampel dengan FTIR dilakukan menggunakan 0,2 g sampel yang diletakkan pada ATR-FTIR. Sampel dimasukkan ke dalam instrumen FT-IR dan di analisis pada λ 4000- 400 cm^{-1} .

2. XRD

Sampel dipasang pada substrat kuarsa, dan gambar diperoleh pada kecepatan pemindaian 0,02 $^\circ$. min^{-1} pada rentang 2θ 10 $^\circ$ - 80 $^\circ$.

3. PSA

Sampel terlebih dahulu di preparasi menggunakan 0,5 g sampel diletakkan di botol vial dan ditambahkan etanol. Di ultrasonikasi sampel selama 5-15 menit kemudian sampel dimasukkan ke sel pengukuran PSA dan di lakukan pengukuran partikel.

4. FESEM

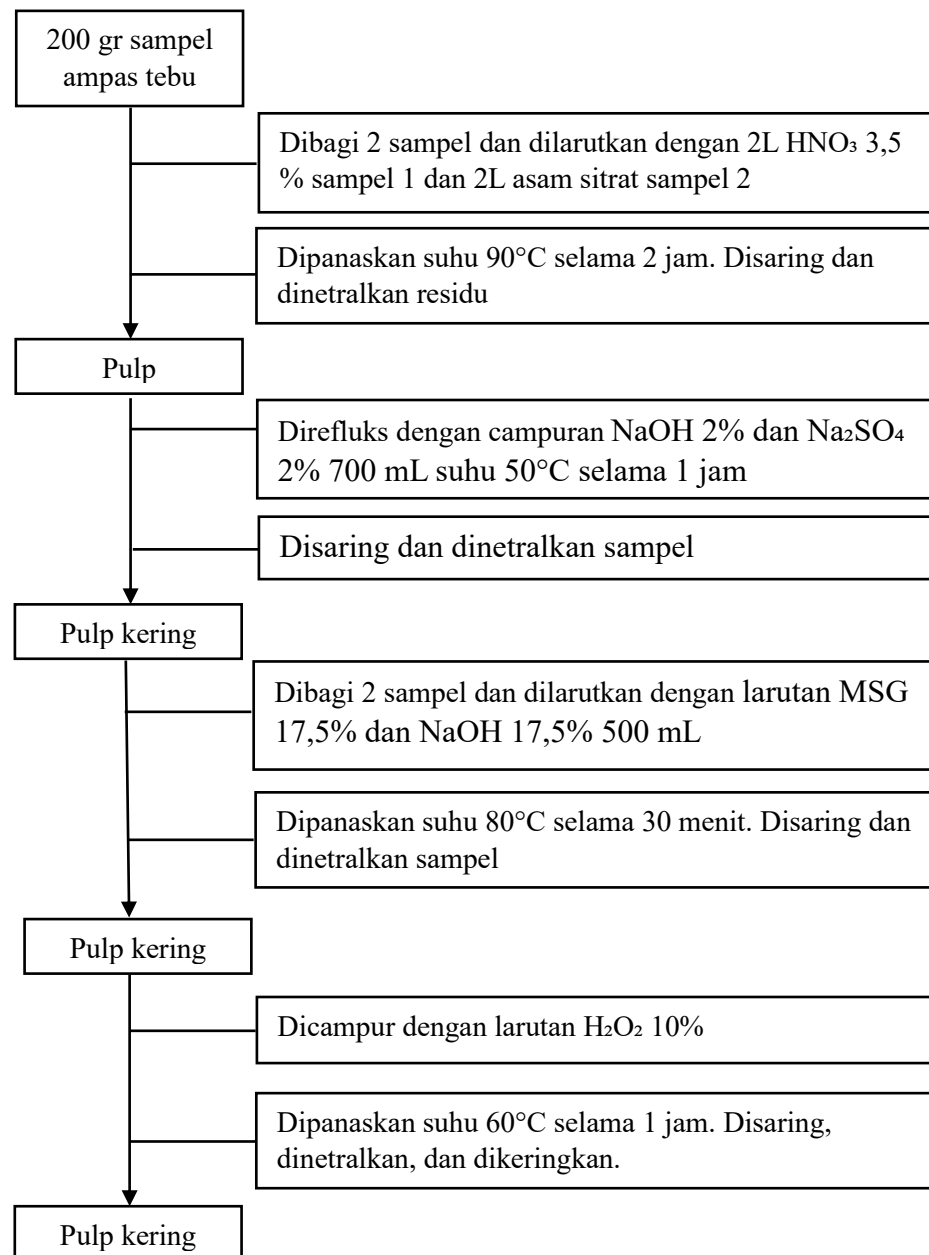
Karakterisasi dilakukan dengan preparasi sampel dengan etanol pada cawan petri diatas aluminium foil dan dibiarkan kering. Selanjutnya, sampel dilapisi karbon tip

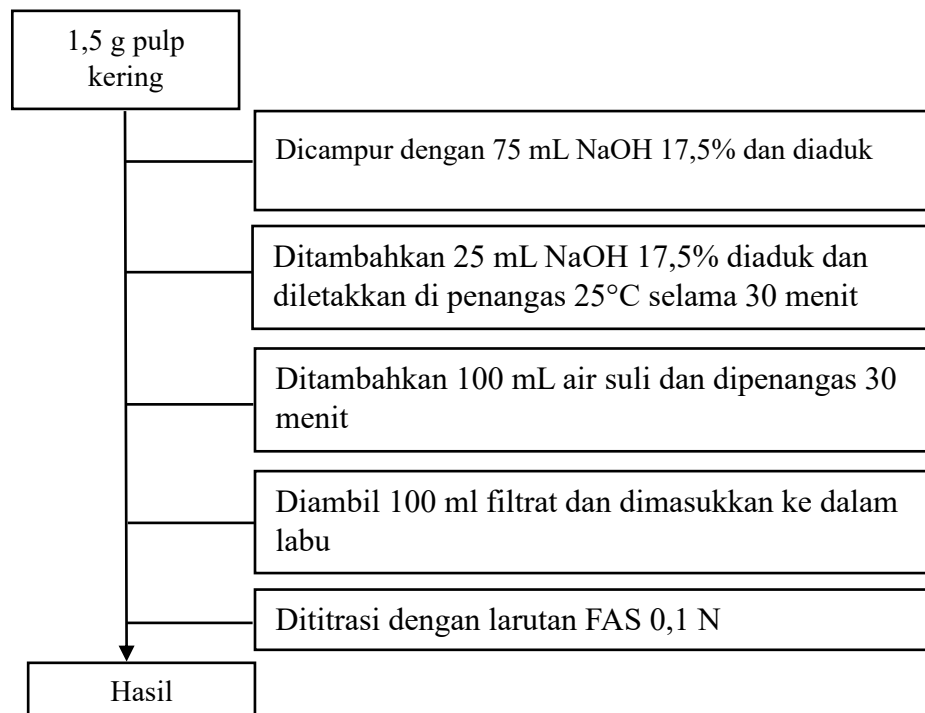
dua sisi dan di *coating* dengan emas dan dianalisis dengan tegangan hingga 20.000 kV pada perbesaran 1.000x, 5.000x dan 10.000x.

3.4 Diagram Alir

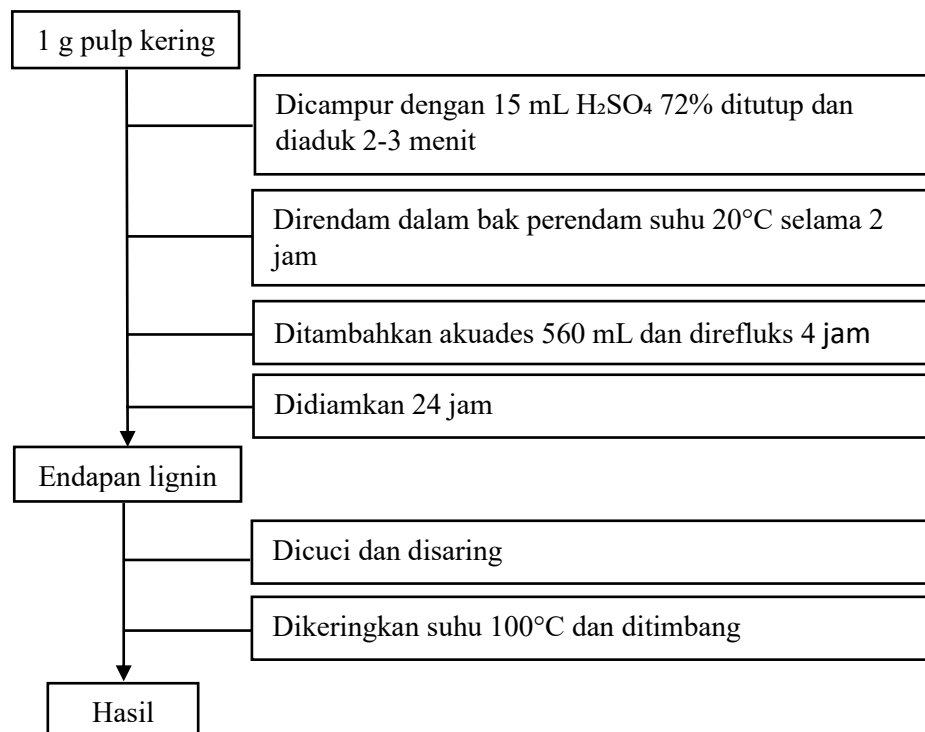
Adapun diagram alir pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Isolasi Selulosa

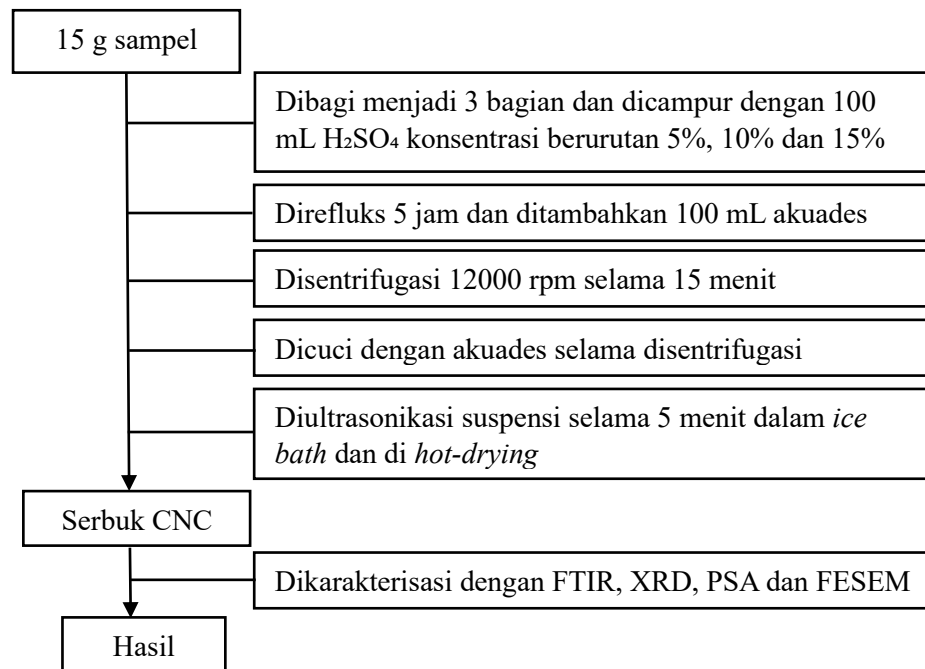


2. Penentuan kadar α -selulosa SNI 0444:2009

3. Penentuan kadar lignin SNI 0492:2008



4. Pembuatan nanoselulosa



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil dan pembahasan yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

1. Pada tahap setelah isolasi selulosa sampel 2b memiliki kualitas baik dari semua sampel, dengan kadar α -selulosa tertinggi sebesar 94,26%.
2. Hasil analisis FTIR pada konsentrasi 15% menjadi puncak utama struktur selulosa yang paling tinggi.
3. Hasil analisis XRD indeks kristalinitas tertinggi pada nanoselulosa variasi H_2SO_4 15% yang memiliki empat puncak serapan 2θ sebesar $20,1^\circ$, $22,8^\circ$, $34,6^\circ$, dan $40,5^\circ$ dengan nilai indeks kristalinitas sebesar 75%.
4. Hasil PSA nanoselulosa 15% dengan ukuran partikel 2997 nm dan nilai PI 0,5.
5. Hasil analisis FESEM serat lebih kecil ditunjukkan pada nanoselulosa variasi H_2SO_4 15% dengan diameter 203 nm–0,975 μm .

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat peneliti selanjutnya lakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pengoptimalan dalam pemutihan setelah isolasi sebaiknya mempertimbangkan penggunaan NaOCl untuk meningkatkan warna putih.
2. Penggunaan H_2SO_4 pada proses hidrolisis asam sebaiknya disesuaikan kadarnya sesuai dengan sampel yang digunakan.
3. Pengeringan pada tahap akhir hidrolisis asam sebaiknya diganti dengan pengeringan yang meminimalkan penyusutan dan perubahan warna pada hasil akhir sampel.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Ang, B. C., Yaacob, I. I., and Nurdin, I. 2023. Investigation of Fe₂O₃/SiO₂ Nanocomposite by FESEM and TEM. *Journal of Nanomaterials*, 2(1), 1-20.
- Anindya, A. L. 2018. Particle Size Analyser: Beberapa Penggunaan Instrumen Hamburan Cahaya. In *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*. 1, 10–11.
- Asrofi, M., Abrial, H., Kasim, A., and Pratoto, A. 2017. XRD and FTIR Studies of Nanocrystalline Cellulose from Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) Fiber. *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*, 29(8), 9–16.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Potensi Pertanian Indonesia: Peta Baru Pertanian Berkelanjutan*.
- Bayu, A., Nandiyanto, D., Oktiani, R., and Ragadhita, R. 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 1, 97–118.
- Behnood, R., Anvaripour, B., Jaafarzadeh, N., and Farasati, M. 2016. Oil Spill Sorption Using Raw and Acetylated Sugarcane Bagasse. *Journal of Central South University*, 23(7), 1618–1625.
- Credou, J., and Berthelot, T. 2014. Cellulose: From Biocompatible to Bioactive Material. *Journal of Materials Chemistry B*, 2(30), 4767–4788.
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., and Mozafari, M. R. 2018. Impact of Particle Size and Polydispersity Index on the Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 1–17.
- Dewi, L. M. 2023. Sintesis Nanokristal Selulosa Dari Ampas Tebu dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Logam Tembaga (II) Synthesis of Cellulose Nanocrystals from Bagasse and Application as a Copper(II) Metal Ion Adsorben. *Jurnal Kimia*, 1(1), 1-18.

- Dinesh, B. K. S., Janakiraman, V., Palaniswamy, H., Kasirajan, L., Gomathi, R., and Ramkumar, T. R. 2022. A Short Review On Sugarcane: Its Domestication, Molecular Manipulations and Future Perspectives. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(8), 2623–2643.
- Fauziyah, B., Yuwono, M., Isnaeni, Nahdhia, N., and Sholihah, F. 2022. Isolation and Characterization of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Bagasse Cellulose Hydrolyzed with Acid Variation. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 6(6), 856–862.
- Fengel, D dan Wegener, G. 1995. *Kayu: Kimia Ultrasuktur, Reaksi-reaksi. Edisi Kesatu*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Fox, S. C., Armando, G., and McDonald. 2010. Chemical and Thermal Characterization of Three Industrial Lignins and Their Corresponding Lignin Esters. *Bioresources Journal*, 5, 990-1009.
- Geraldo, D. A., Needham, P., Chandia, N., Arratia-Perez, R., Perez, G. C. M., and Villagra, N. A. 2016. Biointerface Research in Applied Chemistry Preservation. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 6(6), 1612–1620.
- Guntama, D., Herdiana, Y., Sujiana, U. A., Endes, R. L., and Sunandar, E. 2019. Bioethanol Dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot Esculenta* Crantz) Melalui Metode Hidrolisa dan Fermentasi dengan Bantuan *Saccharomyces Cerevisiae*. *Jurnal Teknologi*, 7(1), 86–96.
- Gupta, A and Verma, J. P. 2015. Sustainable Bio-Ethanol Production from Agro-Residues: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41(1), 550–567.
- Hartati, N., Kemala, T., Sutriah, K., and Farobie, O. 2019. Kompatibilitas Nanokristal Selulosa Termodifikasi Setrimonium Klorida (CTAC) dalam Matriks Poliasam Laktat sebagai Material Pengemas. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 22(4), 157–163.
- Herawati, N., and Melani, A. 2018. Pembuatan Biogasoline dari Ampas Tebu. *Jurnal Distilasi*, 3(1), 16–21.
- Hertiwi, L. R., Afni, A. N., Lailiyah, N., dan Sanjaya, I. G. M. 2020. Ekstraksi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Limbah Kulit Bawang Merah. *Journal Education and Chemistry*, 2(1), 77–81.
- Hindi, S. S. 2024. Novel Recycling, Defibrillation, and Delignification Methods for Isolating α -Cellulose from Different Lignocellulosic Precursors for the Eco-Friendly Fiber Industry. *Polymers*, 16(17). 1-13.

- Hospodarova, V., Singovszka, E., and Stevulova, N. 2018. Characterization of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy for Their Further Implementation to Building Materials. *American Journal of Analytical Chemistry*, 1(2), 303–310.
- Hu, M., Lv, X., Wang, Y., Zhang, Y., and Dai, H. 2024. Guideline for the Extraction of Nanocellulose from Lignocellulosic Feedstocks. *Food Biomacromolecules*, 1(1), 9–17.
- Ioelovich, M. 2012. Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(2), 9–13.
- Jirathampinyo, S., Chumchochart, W., and Tinoi, J. 2023. Integrated Biobased Processes for Nanocellulose Preparation from Rice Straw Cellulose. *Processes*, 11(4), 1–17.
- Kashcheyeva, E. I., Gismatulina, Y. A., and Budaeva, V. V. 2019. Pretreatments of Non-Woody Cellulosic Feedstocks or Bacterial Cellulose Synthesis. *Polymers*, 11(10).
- Kementerian Pertanian. 2023. Outlook Komoditas Pertanian Tebu. *Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian*, 1–2.
- Khadafi, M., Zulfazri, Z., Kurniawan, E., Sulhatun, S., and Dewi, R. 2022. Isolasi Sabut Kelapa dengan Metode Chesson-Datta Sebagai Sumber Alfa Selulosa. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(1), 40.
- Khaire, K. C., Moholkar, V. S., and Goyal, A. 2021. Bioconversion of Sugarcane Tops to Bioethanol and Other Value Added Products: An Overview. *Materials Science for Energy Technologies Journal*, 4(1), 1-23.
- Klemm D, Philipp B, Heinze T, Heinze U, dan Wagenknecht W. 1998. Comprehensive Cellulose Chemistry : Fundamentals and Analytical Methods. Vol.1
- Kumar, A., Singh Negi, Y., Choudhary, V., and Kant Bhardwaj, N. 2020. Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid-Hydrolysis from Sugarcane Bagasse as Agro-Waste. *Journal of Materials Physics and Chemistry*, 2(1), 1–8.
- Lestari, Y. P. I. 2024. Review: Isolasi A-Selulosa Dari Bahan Alam Dengan Berbagai Metode. *Farmasains : Jurnal Ilmiah Ilmu Kefarmasian*, 11(2), 76–89.
- Li, W., Yue, J., and Liu, S. 2012. Preparation of Nanocrystalline Cellulose Via Ultrasound and Its Reinforcement Capability for Poly(Vinyl Alcohol) Composites. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3), 479–485.

- Mahadevaiah, C., Appunu, C., Aitken, K., Suresha, G. S., Vignesh, P., Mahadeva Swamy, H. K., Valarmathi, R., Hemaprabha, G., Alagarasan, G., and Ram, B. 2021. Genomic Selection in Sugarcane: Current Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 12(1), 1-20.
- Mahmood, Z., Yameen, M., Jahangeer, M., Riaz, M., Ghaffar, A., and Javid, I. 2018. Lignin as Natural Antioxidant Capacity. *Lignin - Trends and Applications*, 1(8), 1-27.
- Mayeen, A., Shaji, L. K., Nair, A. K., and Kalarikkal, N. 2018. Morphological characterization of nanomaterials. In *Characterization of Nanomaterials: Advances and Key Technologies*. Mahatma Gandhi University. India.
- Montoya, E. N., Ospina, D., Andr, J., Catalina, G., Felisinda, P., Rojo, G., Maria, L., Escobar, J. P., Correa-hincapi, N., Triana-ch, O., Gallego, R. Z., and Stefani, P. M. 2022. Use of Fourier Series in X-ray Diffraction (XRD) Analysis and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Estimation of Crystallinity in Cellulose from Different Sources. *Polymers*, 14(1), 1-16.
- Mulyadi, I. 2019. Karbohidrat. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(2), 434–438.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., and Fiandini, M. 2023. Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), 113–126.
- Nang Vu, A., Hoang Nguyen, L., Yoshimura, K., Duy Tran, T., and Van Le, H. 2024. Cellulose Nanocrystals Isolated from Sugarcane Bagasse Using the Formic/Peroxyformic Acid Process: Structural, Chemical, and Thermal Properties. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(8).
- Noerati, J. Juhana, Sri Iriani, dan K. 2018. Isolasi Limbah Ampas Batang Tebu (*Sugarcane Bagasse*) Sebagai Bahan Baku Alternatif Selulosa. *Jurnal Politeknik*, 16(2), 18–26.
- Nuringtyas, T. R. 2010. *Karbohidrat*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Oyohwose, U. A., and Omoko, V. I. 2023. Extraction and Characterization of Nanocrystalline Cellulose From Sugarcane Bagasse. *International Journal of Novel Research and Development*. 8(4), 112–118.
- Paskawati, Y. A., Susyana, Antaresti, and Retnoningtyas, E. S. 2011. Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan baku pembuatan kertas komposit alternatif. *Jurnal Widya Teknik*, 9, 12–21.

- Peng, B. L., Dhar, N., Liu, H. L., and Tam, K. C. 2011. Chemistry and Applications of Nanocrystalline Cellulose and Its Derivatives: A Nanotechnology Perspective. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 89(5), 1191–1206.
- Prabhu, R. S., Priyanka, R., Vijay, M., and Vikashini, G. R. K. 2021. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) with A Very Big Future in Pharmaceutical Research. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 11(2), 183-187.
- Pradana, A. S., Bahri, S., Muarif, A., Sylvia, N., dan Sulhatun. 2024. Pemanfaatan Ampas Tebu Untuk Pembuatan Pulp. 6(12), 813–824.
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., and Guan, G. 2018. Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32–43.
- Purwanto, W. W., and Supramono, D. 2016. Biomass Waste and Biomass Pellets Characteristics and Their Potential in Indonesia Biomass Waste and Biomass Pellets Characteristics and Their Potential in Indonesia. *The 1st International Seminar on Fundamental and Application*, 3(4), 1-17.
- Ramos, E., Calatrava, S. F., and Jiménez, L. 2008. Bleaching With Hydrogen Peroxide. A Review. *Afinidad*, 6(5), 366–373.
- Rayana, M., Chairul, and Hafidawati. 2014. Variasi Pengadukan Dan Waktu Pada Pembuatan Bioetanol Dari Pati Sorgum Dengan Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak (SSF). *Jurnal Rekayasa Bioproses*, 1(1), 1-8.
- Samsuri, M., Gozan, M., Mardias, R., Baiquni, M., Hermansyah, H., Wijanarko, A., Prasetya, B., and Nasikin, M. 2007. Enzym Xylanase. *Makara Teknologi*, 11(1), 17–24.
- Senthil Prabhu, R., Priyanka, R., Vijay, M., and Kaviya Vikashini, G. R. 2021. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) with A Very Big Future in Pharmaceutical Research. *Research Article Pharmaceutical*, 11(2), 2321–3272.
- Song, Y., Zhou, J., Zhang, L., and Wu, X. 2008. Homogenous Modification Of Cellulose With Acrylamide in NaOH/Urea Aqueous Solutions. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 18–25.
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N., Sri Wahyuni, I. G. A. N., and Kristiyanti, P. L. 2023. Optimasi Kinerja Alat Fourier Transform Infrared (FTIR) Melalui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 58–69.

- Taokaew, S., Seetabhawang, S., Siripong, P., and Phisalaphong, M. 2013. Biosynthesis and Characterization of Nanocellulose-Gelatin Films. *Materials*, 6(3), 782–794.
- Thakur, V., Guleria, A., Kumar, S., Sharma, S., and Singh, K. 2021. Recent advances in nanocellulose processing, functionalization and applications: A review. *Materials Advances*, 2(6), 1872–1895.
- Thermo Fisher Scientific. 2019. *SEM Technology: A Comprehensive Guide*. 1–26.
- Thipchai, P., Sringarm, K., Punyodom, W., Jantanasakulwong, K., Thanakkasaranee, S., Panyathip, R., Arjin, C., and Rachtanapun, P. 2024. Production of Nanocellulose from Sugarcane Bagasse and Development of Nanocellulose Conjugated with Polylysine for Fumonisin B1 Toxicity Absorption. *Polymers*, 16(13), 1-22.
- Vikriya, N. Z. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Tongkol Jagung Secara Hidrolisis Asam. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Wahyudi, A., and Rochani, S. 2011. Preliminary Study of Particle Size Measurement of Fine Phosphate Rocks Using Dynamic Light Scattering Method. *Indonesian Mining Journal*, 14(3), 115–122.
- Widiarto, S., Yuwono, S.D., A. R. and I. M. A. 2016. Preparation and Characterization of Cellulose and Nanocellulose from Agro-industrial Waste - Cassava Peel. *Journal of Physics: Conference Series*, 7(1). 7-20.
- Widiastuti, E and Marlina, A. 2020. Optimasi Pembuatan Nanoselulosa Dari Rumput Alang-Alang. *Jurnal Fluida*, 13(2), 59 – 64.
- Widya F. 2022. Teknologi Konversi Biomassa Untuk Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa dan Lignin Sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Material Berkelanjutan. In Teknologi Konversi Biomassa Untuk Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa dan Lignin Sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Material Berkelanjutan. *BRIN*. Jakarta.
- William and David. 1980. Materials Science and Eng. *Materials Science and Engineering: A* 42(1), 122.
- Wulandari, W. T., Rochliadi, A., and Arcana, I. M. 2016. Nanocellulose Prepared by Acid Hydrolysis of Isolated Cellulose from Sugarcane Bagasse. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107(1), 1-17.
- Xu, F., Yu, J., Tesso, T., Dowell, F., and Wang, D. 2013. Qualitative And Quantitative Analysis of Lignocellulosic Biomass Using Infrared Techniques: A Mini-Review. *Applied Energy*, 104(1), 801–809.

Yuwono, M., Fauziyah, B., Isnaeni dan Nisak, A. 2020. Tensile Strength and Elongation Analysis on Nanocellulose Film Isolated from Sugarcane Bagasse. *Journal Earth and Environmental Sciences*, 456(1), 1-12.